

УДК 532.546

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА МОДЕЛИ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ

© Р. А. Валиуллин, Р. Ф. Шарафутдинов, А. И. Гафуров*, В. Я. Федотов

*Башкирский государственный университет
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди 32.**Тел./факс: +7 (347) 272 60 56.
Email: dexteraidar@rambler.ru

В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с исследованием термогидродинамических процессов и коэффициентов Джоуля-Томсона в однофазных потоках нефти и воды на модели пористой среды, представляющей дроссельный элемент. Как известно, данные термометрических исследований в настоящее время интерпретируются лишь на качественном уровне. Одной из причин этого, недостаточное знание коэффициентов Джоуля-Томсона для конкретных пластовых жидкостей. В статье представлены методика эксперимента и данные по исследованию эффекта Джоуля-Томсона для таких жидкостей как вода, масло, нефть. Определение коэффициента Джоуля-Томсона для конкретных пластовых жидкостей позволит переходить к количественной интерпретации данных термометрии.

Ключевые слова: эффект Джоуля-Томсона, адиабатический эффект, термометрия, термодинамика, дроссельная ячейка.

Введение

При контроле за разработкой нефтяных и газовых месторождений широкое применение получили термометрические методы исследования действующих скважин [1]. Изменение температуры в пласте и скважине обусловлено проявлением Джоуля-Томсона и адиабатического эффектов [2]. В настоящее время хорошо изучены термодинамические коэффициенты большинства жидкостей и газов для определенных температур и давлений [3–5].

Одним из коэффициентов необходимых для количественной интерпретации данных термогидродинамических исследований является коэффициент Джоуля-Томсона, который до настоящего времени недостаточно изучен в широком температурном диапазоне. В особенности это относится к газожидкостным системам.

В связи с этим в данной работе исследовались температурные эффекты, возникающие при фильтрации нефти и воды в модели пористой среды, представляющей дроссельный элемент. Проводились оценки величины изменения температуры и коэффициенты Джоуля-Томсона.

1. Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Изучение термогидродинамических процессов и определение коэффициента Джоуля-Томсона основано на измерении температуры и давления на модели пористой среды представляющей дроссельный элемент.

На рис. 1 и рис. 2 приведена принципиальная схема экспериментальной установки, которая состоит из следующих основных систем:

- а) гидравлической
- б) измерительной схемы температуры.

Гидравлическая система представляет из себя установку для изучения термодинамических параметров пластовых флюидов ПИК-ОФП-2-СУ-70–40–1-РР-ФС (рис. 1). Установка обеспечивает одновременную прокачку через дроссельный элемент двух жидкостей при давлениях до 400 атмосфер и температуре до 150 °С.

Принципиально комплекс состоит из блока подачи рабочих сред (плунжерные насосы (Н)), контейнеров для хранения рабочих жидкостей (СР), регулятора противодействия (ВРР), манометров (D) и дифференциальных манометров (DD) для определения перепада давления на дросселе.

Система измерения температуры включает в себя регистрирующее устройство (4-х каналный модуль для подключения термодатчиков NI CompactDAQ 9211), термопары типа КТХА 01.02–002 с диапазоном измерений от –40 °С до 700 °С и диаметром защитной оболочки $d=1$ мм, и саму дроссельную ячейку, где расположены данные термопары.

На рис. 2 представлена принципиальная схема дроссельной ячейки. Через трубку 1, подающую флюид, жидкость попадает в дроссельную ячейку. Термопара 3 измеряет температуру флюида до прохождения через дроссель. Далее жидкость проходит через дроссель, ширину канала можно менять штоком 5. Термопара 4 измеряет температуру жидкости, прошедшей через дроссель и по трубке 2 жидкость уходит далее в емкость.

Создание и поддержание давления, потоков жидкостей в системе обеспечивают плунжерные насосы. Пара плунжеров создает непрерывный поток жидкости через дроссель.

Таким образом, измеряя перепад давления и температуры на дроссельном элементе при создании стационарного потока жидкости через него можно определить численное значение коэффициента Джоуля-Томсона по формуле (1).

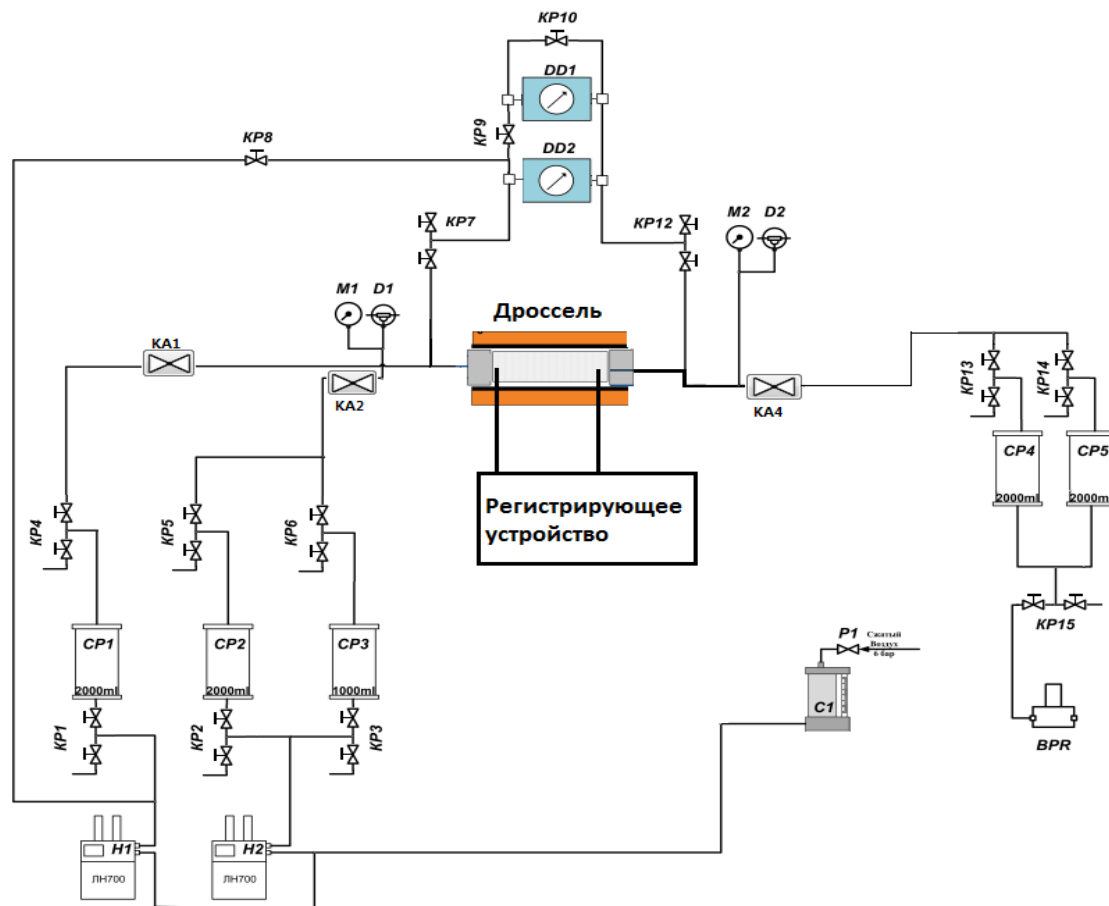


Рис. 1. Гидравлическая схема установки ПИК-ОФП-2-СУ-70-40-1-РР-ФС.

$$\bar{\varepsilon} = \Delta T / \Delta P \quad (1)$$

Разработанная установка и методика измерения позволяют экспериментально определять величину коэффициента Джоуля-Томсона с погрешностью не более 2%.

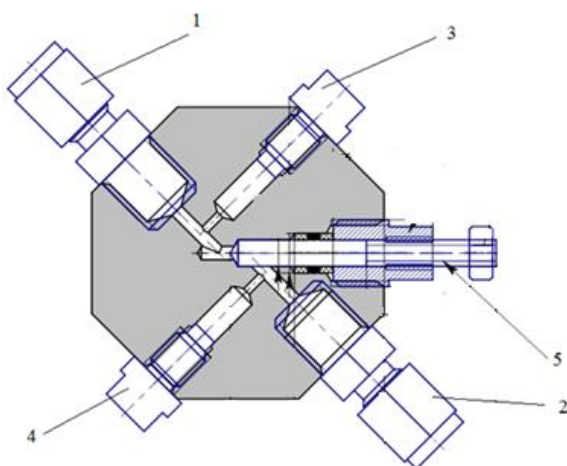


Рис. 2. Схема дрессельной ячейки.

2. Экспериментальные исследования коэффициента Джоуля-Томсона индивидуальных жидкостей

На первом этапе исследований была проведена серия экспериментов по определению коэффициента Джоуля-Томсона для индивидуальных жидкостей (вода) в диапазоне давлений 1–10 МПа и температуры 5–60 градусов. Для стабилизации входной температуры дрессельная ячейка и медная трехметровая спиралевидная трубка по которой поступает рабочая жидкость помещалась в ванну с водой, температура которой регулировалась с помощью термостата LOIPFT-316-40 в диапазоне температур 5–60 градусов. Такая схема позволяет стабилизировать температуру исследуемой жидкости на входе в дрессельную ячейку.

Методика экспериментов заключалась в следующем:

- после включения установки и регистрирующих элементов обеспечивается стабилизация температуры (60–90 минут)
- пуск в работу насосов, которые нагнетают давление в системе.

Стабилизация давления занимает около 20–30 минут. Перепад давления регулируется с помощью

регулятора противодействия и штока внутри дроссельного элемента. Емкость с рабочей жидкостью имеет объем 2 литра и позволяет за один раз совершить 3–4 эксперимента.

По данным измерения температуры и давления вычислялись величины $\varepsilon = \frac{\Delta T}{\Delta P}$. На *рис. 3* приведен

график с результатами исследований для воды.

Для каждого перепада давления и температуры проводились независимые 3–4 эксперимента. Из *рис. 3* видно, что зависимость коэффициента Джоуля-Томсона для воды от температуры строго линейная и с увеличением температуры коэффициент Джоуля-Томсона для воды уменьшается.

3. Экспериментальные исследования коэффициента Джоуля-Томсона для вязкой нефти

Целью настоящей серии экспериментов является изучение термодинамических процессов при движении вязкой парафинистой нефти с вязкостью 82 мПа·с. Методика эксперимента была изложена выше.

На *рис. 4* представлены результаты эксперимента.

С увеличением температуры наблюдается снижение коэффициента Джоуля-Томсона для вязкой нефти (*рис. 4*). При этом наибольшее снижение коэффициента Джоуля-Томсона наблюдается в интер-

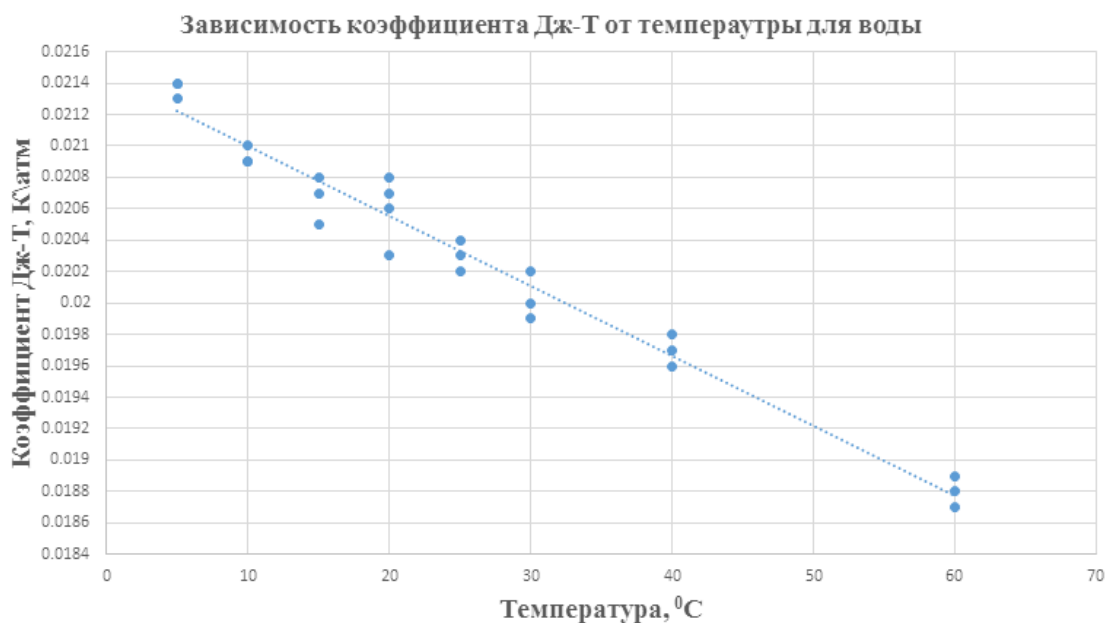


Рис. 3. Зависимость коэффициента Джоуля-Томсона от температуры для воды.

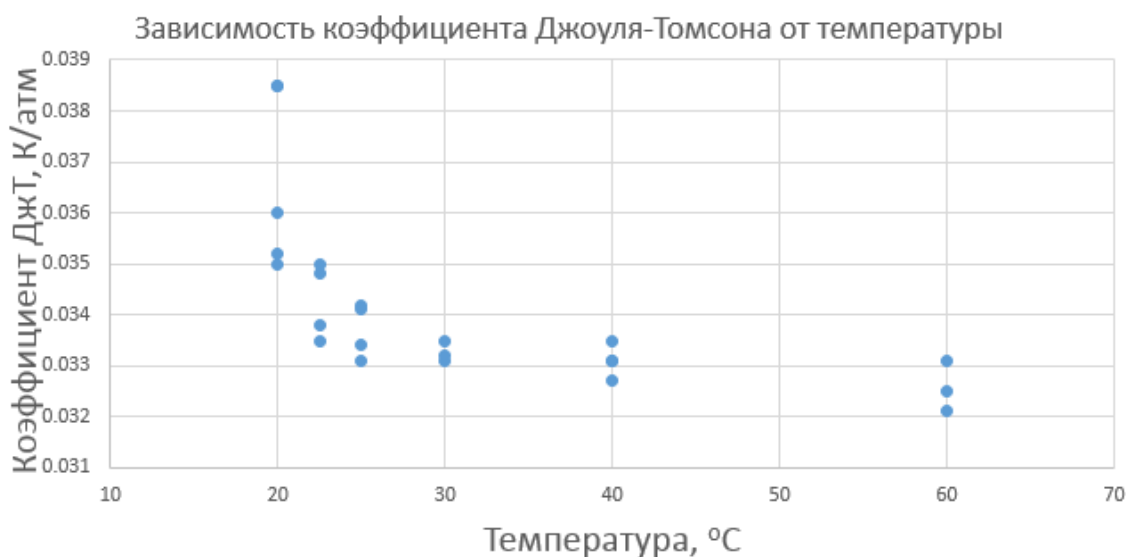


Рис. 4. Зависимость коэффициента Джоуля-Томсона от температуры для нефти.

вале температур от 20 до 30 градусов. При 20 °С отмечается большой разброс в коэффициенте Джоуля-Томсона. Возможной причиной может быть выпадение парафина из нефти и частичное закупоривание дроссельной ячейки. На *рис. 5* приведены зависимости перепада давления и отношения изменения температуры к изменению давления от времени, а на *рис. 6* изменения температуры на входе и выходе из дроссельной ячейки. Видно, что с течением времени (400 секунд) наблюдается повышение перепада давления и в дальнейшем резкое увеличение перепада давления (670 секунд). Наблюдается также изменение температуры и отношения температуры к давлению. Резкое снижение температуры в момент записания связано затуханием дроссельного процесса и теплообменом с окружающей средой.

До момента полного записания для температуры на выходе из дроссельной ячейки при постоянной температуре на входе наблюдается повышение

температуры, а в дальнейшем колебания температуры от минимума до максимальной величины (*рис. 6*). Основной причиной такого поведения давления является осаждение парафина на дроссельной ячейке и полное его закупоривание в дальнейшем.

Выводы

1. Разработана лабораторная установка для изучения эффекта Джоуля-Томсона при различных температурах и давлении для различных флюидов.
2. Определены коэффициенты Джоуля-Томсона для индивидуальных жидкостей и их зависимость от температуры.
3. Изучены особенности термогидродинамических процессов при дросселировании вязкой парафинистой нефти
4. Установлено, что при дросселировании происходит закупорка дроссельного элемента. До момента закупорки наблюдается повышение температуры и в дальнейшем колебания температуры.

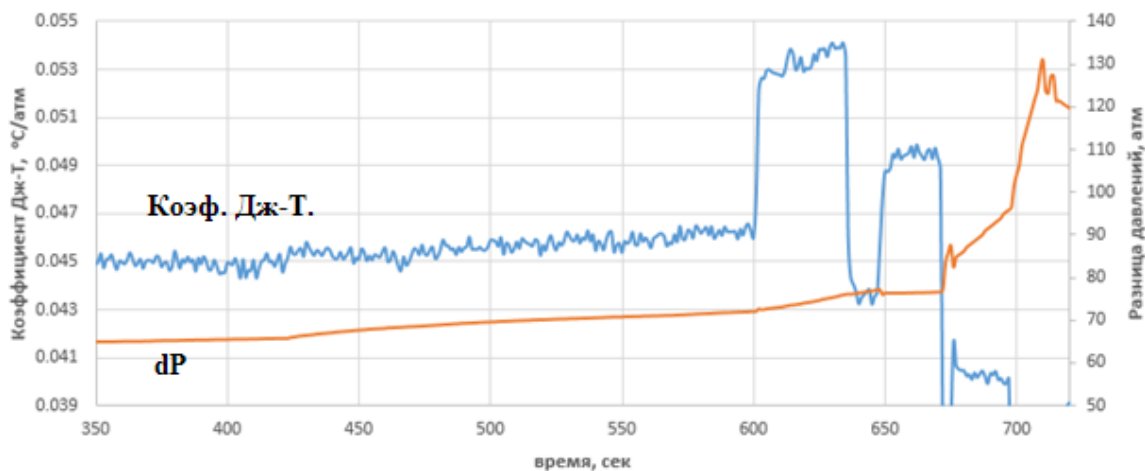


Рис. 5. Изменение перепада давления и отношения $\Delta T/\Delta P$ от времени. Шифр кривых: синяя кривая-отношение $\Delta T/\Delta P$, оранжевая- перепад давления.

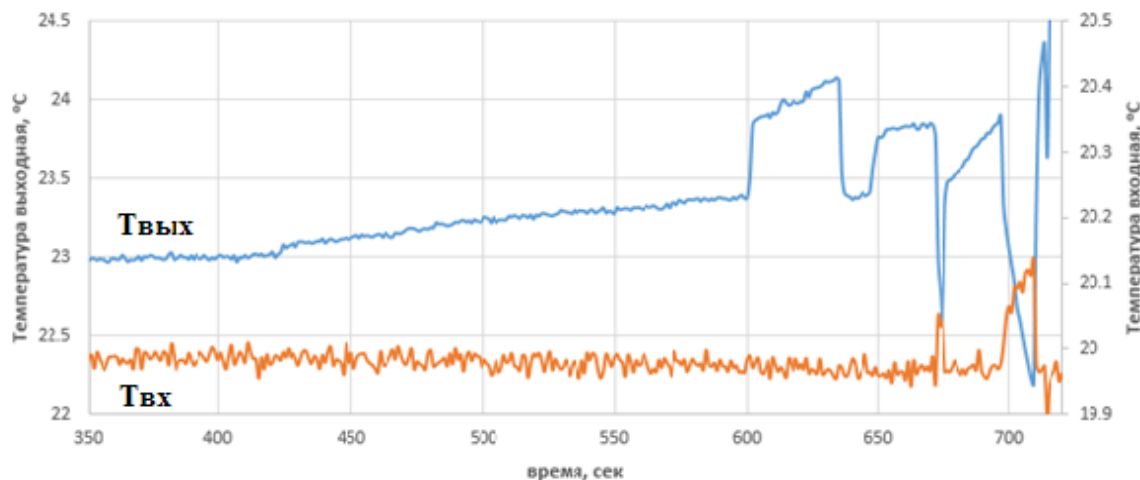


Рис. 6. Зависимость температуры на входе и выходе из дроссельной ячейки от времени. Шифр кривых: синяя кривая- температура на выходе, оранжевая- температура на входе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чекалюк Э. Б. Термодинамика нефтяного пласта. М.: Недра, 1965.
2. Валиулин Р. А., Рамазанов А. Ш., Шарафутдинов Р. Ф. Баротермический эффект при трехфазной фильтрации с фазовыми переходами. // Изв. РАН, МЖГ, 1994, 6, с.113- 117.
3. M. Kaviany. Principles of Heat Transfer in Porous Media (Springer-Verlag, 1999)
4. Gladkov S. O. On the connection of Joule-Thompson's coefficient with dissipation properties of filtrating media// Eur. Phys. J. E 10, 2003. Pp. 171–174 (2003)
5. Tamas K. и др. Molecular simulation of the Joule–Thomson inversion curve of hydrogen sulphide. Molecular Physics, Vol. 103, No. 4, 20 February 2005. Pp. 537–545.

Поступила в редакцию 13.02.2017 г.

STUDY OF THERMOHYDRODYNAMIC EFFECTS ON A MODEL OF THE POROUS MEDIUM

© R. A. Valiullin, R. F. Sharafutdinov, A. I. Gafurov*, V. Ya. Fedotov

*Bashkir State University
32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

*Phone: +7 (347) 272 60 56.
Email: dexteraidar@rambler.ru

Nowadays thermometric methods of studying active wells are widely applied at monitoring of the development of oil and gas fields. The change of reservoir and wellbore temperature is conditioned by manifestation of the Joule-Thomson and adiabatic effects. Thermodynamic coefficients of most liquids and gases for specific temperatures and pressures are now well studied. In this article, the questions related to the study of thermo-hydrodynamic processes and Joule-Thomson coefficients for single-phase flow of oil and water on a model of the porous medium – throttle element are considered. It is well known that interpretation of thermometry data is usually carried out only at the qualitative level. One reason for this practice is the lack of knowledge of the Joule-Thomson coefficients for the specific reservoir fluids. The authors of the article propose the experimental method and the data for the study of the Joule-Thomson effect for such liquids as water, standard oil, and oil. Determination of the Joule-Thomson coefficient for the specific reservoir fluids enhances the quantitative interpretation of the thermometry data.

Keywords: Joule-Thomson effect, adiabatic effect, thermometry, thermodynamics, throttle element.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Chekalyuk E. B. Termodinamika neftyanogo plasta [Thermodynamics of oil reservoir]. Moscow: Nedra, 1965.
2. Valiullin R. A., Ramazanov A. Sh., Sharafutdinov R. F. *Izv.RAN, MZhG*, 1994, 6, s.113- 117.
3. M. Kaviany. Principles of Heat Transfer in Porous Media (Springer-Verlag, 1999)
4. Gladkov S. O. *Eur. Phys. J. E* 10, 2003. Pp. 171–174 (2003)
5. Tamas K. i dr. Molecular simulation of the Joule–Thomson inversion curve of hydrogen sulphide. *Molecular Physics*, Vol. 103, No. 4, 20 February 2005. Pp. 537–545.

Received 13.02.2017.